



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①⑫ **Offenlegungsschrift**  
①⑪ **DE 3842492 A1**

⑤① Int. Cl. 5:  
**H01 S 3/097**

②① Aktenzeichen: P 38 42 492.4  
②② Anmeldetag: 16. 12. 88  
④③ Offenlegungstag: 21. 6. 90

DE 3842492 A1

⑦① Anmelder:  
Lambda Physik Forschungs- und  
Entwicklungsgesellschaft mbH, 3400 Göttingen, DE

⑦④ Vertreter:  
Wuesthoff, F., Dr.-Ing.; Frhr. von Pechmann, E.,  
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Behrens, D., Dr.-Ing.; Goetz,  
R., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.; Hellfeld von, A.,  
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦② Erfinder:  
Basting, Dirk, Dr., 3400 Göttingen, DE

⑤④ **Steuerschaltung für einen gepulsten Gasentladungslaser**

Eine Steuerschaltung für einen gepulsten Gasentladungslaser weist ein erstes Schaltelement auf, das zum Erzeugen eines Laserpulses betätigt wird. Damit die Zeitspanne zwischen dem Betätigen des ersten Schaltelementes und dem Beginn eines Laserpulses auch bei Änderung der Ladespannung des Gasentladungslasers konstant bleibt, ist eine Einrichtung vorgesehen, die entsprechend der Ladespannung eine Verzögerungsstufe steuert.

DE 3842492 A1

Die Erfindung betrifft eine Steuerschaltung für einen gepulsten Gasentladungslaser, insbesondere einen Excimerlaser. Aufbau und Funktion eines Excimerlasers werden hier als bekannt vorausgesetzt.

Fig. 1 zeigt ein Prinzipschaltbild einer bekannten Steuerschaltung für einen gepulsten Gasentladungslaser, insbesondere einen Excimer-Laser. Als Hochspannungsschalter (nachfolgend "Hauptschaltelement" genannt) dient ein Thyatron  $T$ , das von einem ersten Schaltelement  $S_1$  mittels eines Spannungsimpulses  $V$ , der gegebenenfalls noch in bekannter Weise umzuformen ist, in den leitenden Zustand versetzt wird (üblicherweise mit "Triggern" oder "Durchschalten" des Thyatron bezeichnet). Mittels einer Hochspannungsquelle  $HV$  wird ein Kondensator  $C_1$  aufgeladen. Beim Schließen des Hauptschaltelementes  $T$  (Durchschalten des Thyatron) wird die im Kondensator  $C_1$  gespeicherte Energie in typischerweise 100 bis 150 ns in den Kondensator  $C_2$  überführt. Entsprechend dem Verhältnis der Kapazitäten der Kondensatoren kann eine Spannungsverstärkung bis zum Faktor 2 erzielt werden. Ein kritisches Bauteil bezüglich der Lebensdauer des Lasers ist der extrem stark beanspruchte Hochspannungsschalter, also das beim gezeigten Ausführungsbeispiel als Hauptschaltelement dienende Thyatron  $T$ .

In dem Aufsatz von D. Basting, K. Hohla, E. Albers, H. v. Bergmann, "Thyatronen with Magnetic Switches: The Key to Reliable Excimer Lasers" in der Zeitschrift "Laser und Optoelektronik", 16, Nr. 2 (1984), S. 128 ist im einzelnen beschrieben, wie die Belastung eines Thyatron reduziert und damit die Lebensdauer der Steuerschaltung erhöht werden kann, indem sogenannte magnetische Kompressionsstufen eingesetzt werden. In den magnetischen Kompressionsstufen werden magnetische Schalter verwendet, deren Induktivität sich zum Zeitpunkt der Sättigung schlagartig um mehrere Größenordnungen verändert. Einzelheiten, hierzu sind in dem vorstehend zitierten Aufsatz von D. Basting et al. und in der DE-PS 33 35 690 beschrieben. Die Offenbarung dieser beiden Druckschriften wird ausdrücklich in die vorliegende Anmeldung aufgenommen und ihr Inhalt als bekannt vorausgesetzt.

Wird gemäß Fig. 2 ein Gasentladungslaser mit einem oder mehreren magnetischen Schaltern der vorstehend beschriebenen Art ausgerüstet, so hängt die Verzugszeit  $t_v$  zwischen dem Schalten (Triggern) des Thyatron  $T$  und dem Beginn des Laserpulses (also dem Beginn der Strahlungsemission des Lasers) von der Ladespannung  $HV$  ab. Damit hängt auch die Zeit  $t_g$  zwischen dem Schließen des ersten Schalters  $S_1$  und dem Beginn des Laserpulses von der Ladespannung  $HV$  ab.

Um die Pulsenergie des Lasers konstant zu halten, ist es bekannt, die Ladespannung  $HV$  zu variieren. So muß zum Beispiel mit abnehmender Gasqualität bei einem Excimerlaser die Ladespannung  $HV$  erhöht werden, um eine gleichbleibende Energie pro Laserpuls zu erreichen. Auch können Schwankungen der Spannung des elektrischen Versorgungsnetzes und andere Effekte zu Änderungen der Pulsenergie führen, welche durch Änderung der Ladespannung kompensiert werden müssen.

Fig. 2 zeigt Einzelheiten einer Steuerschaltung für einen Excimerlaser, in der die oben erwähnten magnetischen Schalter  $MS_1$  und  $MS_2$  verwendet sind. Der gebräuchliche Ausdruck "magnetischer Schalter" ist insofern mißverständlich, als die Bauteile  $MS_1$  und  $MS_2$  nicht aktiv den Stromfluß ein- bzw. ausschalten, sondern

Induktivitäten darstellen, die sättigbar sind und bei Erreichen der Sättigung ihren Induktivitätswert drastisch verändern. Die Sättigung wird erreicht, sobald die sogenannte Haltezeit einen bestimmten Wert erreicht. Die Haltezeit ergibt sich aus dem Integral der Spannung der zu dem betreffenden magnetischen Schalter gehörenden Kompressionsstufe über der Zeit. Wie im oben zitierten Aufsatz von D. Basting et al. ausgeführt ist, kann die Haltezeit  $t_{MSC}$  unter bestimmten Bedingungen wie folgt berechnet werden:

$$t_{MSC} = \frac{2 N A \Delta B}{U_{max}}$$

Dabei ist  $t_{MSC}$  die Schaltzeit des magnetischen Schalters;  $N$  ist die Anzahl der Windungen des magnetischen Schalters;  $A$  ist der Querschnitt des Kerns des magnetischen Schalters;  $B$  ist die magnetische Feldstärke und  $U_{max}$  ist die Spannung des dem betreffenden magnetischen Schalter zugeordneten Kondensators (in Fig. 2 also die Spannung des Kondensators  $C_2$  bezüglich des magnetischen Schalters  $MS_1$  und die Spannung des Kondensators  $C_3$  bezüglich des magnetischen Schalters  $MS_2$ ).

Wird somit in der oben beschriebenen Weise bei einem Gasentladungslaser zur Konstanthaltung der Pulsenergie die für die Gasentladung  $G$  (Fig. 1 und 2) wirksame Ladespannung  $HV$  und somit indirekt auch die Elektrodenspannung (in Fig. 2 die Spannung des Kondensators  $C_4$ ) variiert, so ändern sich auch die Schaltzeiten  $t_{MSC}$  der verwendeten magnetischen Schalter. Beim Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 sind zwei sogenannte Kompressionsstufen hintereinandergeschaltet, jeweils gebildet aus den magnetischen Schaltern  $MS_1$  und dem Kondensator  $C_2$  bzw. dem magnetischen Schalter  $MS_2$  und dem Kondensator  $C_3$ . Wie im oben zitierten Aufsatz beschrieben ist, können auch mehr Kompressionsstufen hintereinandergeschaltet werden.

Soll nun der Laserpuls zu einem genau definierten Zeitpunkt nach dem Schalten des ersten Schalters  $S_1$  beginnen, so werfen die unterschiedlichen Schaltzeiten  $t_{MSC}$  der magnetischen Schalter  $MS_1$  und  $MS_2$  (und gegebenenfalls weiterer magnetischer Schalter) insofern Probleme auf, als mit wachsenden Spannungen  $U_{max}$  die Schaltzeiten entsprechend der obigen Formel kürzer werden. Damit verändert sich auch die Zeitspanne  $t_v$  zwischen dem Durchschalten des Thyatron  $T$  und dem Beginn des Laserpulses. Statt des Thyatron kann auch ein anderer Schalter, wie ein Festkörper-Schalter verwendet werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Steuerschaltung für einen gepulsten Gaslaser, insbesondere einen Excimerlaser, bereitzustellen, die es ermöglicht, daß die Zeitspanne zwischen dem Betätigen eines Schaltelementes und dem Beginn des Laserpulses auch bei Änderung der Ladespannung des Lasers und damit der Gasentladungsspannung konstant ist.

Die erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe ist im Patentanspruch 1 gekennzeichnet.

Erfindungsgemäß wird also bei insbesondere einem Excimerlaser, bei dem eine Gasentladung durch Betätigung eines ersten Schaltelementes ausgelöst werden soll, aber zwischen der Betätigung dieses Schaltelementes und dem Beginn des Laserpulses eine Zeitspanne vergeht, die abhängig ist von einem Parameter, der sich von Laserpuls zu Laserpuls ändern kann, dieser Parameter erfaßt und in Abhängigkeit von dem erfaßten

Wert des Parameters eine Verzögerungsstufe derart angesteuert, daß auch bei einer Änderung des Parameters die Zeitspanne zwischen der Betätigung des ersten Schaltelementes und dem Beginn des Laserpulses auf einem vorgegebenen, konstanten Wert bleibt. Die Verzögerungsstufe bewirkt eine Verzögerung  $t_d$  zwischen dem Schließen des Schalters  $S_1$  und dem Durchschalten des Thyratrons, so daß die Gesamtzeit zwischen Schließen des Schalters und Beginn des Laserpulses konstant bleibt. Es gilt die Formel  $t_g = t_v + t_d$ .

Als Parameter, der sich von Laserpuls zu Laserpuls ändern kann, kommt insbesondere die sogenannte Ladespannung eines Excimerlasers in Betracht. Die Ladespannung wird verändert, um zum Beispiel trotz Verschleiß des Gases in der Entladungskammer des Lasers eine gleichbleibende Leistung pro Laserpuls zu erzielen. Wie oben beschrieben, kann bei Verwendung sogenannter magnetischer Schalter zwischen dem ersten Schaltelement und der Gasentladungsstrecke eine Änderung der Ladespannung eine Veränderung der Zeitspanne zwischen Betätigung des ersten Schaltelementes und dem Beginn des Laserpulses bewirken, da die magnetischen Schalter eine spannungsabhängige Schaltzeit aufweisen.

Zusätzlich zu diesen durch die magnetische Kompression bedingten Verzögerungen können noch andere Verzögerungen zwischen dem Betätigen des Schaltelementes und dem Beginn des Laserpulses auftreten, die ebenfalls von der Ladespannung abhängen können, wie zum Beispiel die sogenannte Anodenverzugszeit zwischen dem Triggern und dem Zünden des Thyratrons (wenn ein solches als Schaltelement verwendet wird) und auch die Zeit zwischen dem Beginn des Spannungsanstiegs an den Laserelektroden und dem Gasdurchbruch.

Erfindungsgemäß wird deshalb theoretisch und/oder experimentell der Einfluß einer Änderung der Ladespannung auf die Zeitspanne zwischen Durchschalten des Thyratrons und dem Beginn des Laserpulses ermittelt und entsprechend wird eine Steuereinrichtung programmiert, die eine Verzögerungsleitung so steuert, daß der Einfluß der Änderung des Parameters auf die Zeitspanne zwischen Betätigung des ersten Schaltelementes und Beginn des Laserpulses kompensiert wird, d.h. die Zeitspanne ändert sich nicht. Mit der Erfindung ist es also möglich, den Laser zu einem genau definierten Zeitpunkt nach dem Betätigen des ersten Schaltelementes (z.B. ein weiteres Thyatron) zu feuern.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung näher beschrieben. Es zeigt:

Fig. 3a und 3b Spannungsverläufe an den einzelnen Stufen einer magnetischen Kompressionsschaltung gemäß Fig. 2 bei zwei verschiedenen Ladespannungen;

Fig. 4 die Abhängigkeit der Verzögerungszeit  $t_v$  zwischen dem Schließen des Hochspannungsschalters (Hauptschaltelementes)  $T$  gemäß Fig. 2 und dem Beginn der Gasentladung eines Excimerlasers einmal mit einer einstufigen magnetischen Kompressionsschaltung und zum anderen mit einer zweistufigen magnetischen Kompressionsschaltung als Funktion der Ladespannung;

Fig. 5 schematisch die Ermittlung der benötigten Verzögerungszeit  $t_d$ ;

Fig. 6 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Steuerschaltung für einen Excimerlaser; und

Fig. 7 ein Blockschaltbild einer Verzögerungssteuerung.

Die in Fig. 2 gezeigte Steuerschaltung für einen Excimerlaser weist zwei sogenannte Kompressionsstufen auf, die von den magnetischen Schaltern  $MS_1$  und  $MS_2$  sowie den zugehörigen Kondensatoren gebildet werden. Diese Schaltung ist in der eingangs zitierten Literatur beschrieben. Sie bewirkt beim gezeigten Ausführungsbeispiel eine zweistufige Kompression des Spannungspulses, der bei Schließen des Hauptschaltelementes  $T$  (z.B. ein Thyatron) erzeugt wird. Die entstehenden Spannungen an den Kondensatoren  $C_2$ ,  $C_3$  und  $C_4$  sind in den Fig. 3a und 3b dargestellt. Bei den Meßkurven gemäß Fig. 3a wird eine Ladespannung  $HV$  von 15 kV angelegt, während bei den Kurven gemäß Fig. 3b eine Ladespannung von 26 kV zugrundeliegt.

Die Spannung I liegt vor dem ersten magnetischen Schalter  $MS_1$  an; die Spannung II liegt vor dem zweiten magnetischen Schalter  $MS_2$  an und die Spannung III liegt zwischen den Elektroden  $E_1$  und  $E_2$  an.

Ein Vergleich der Fig. 3a und 3b zeigt, wie sich der Zeitverlauf der Ladespannung (Kurve III) bei Variation der Ladespannung ändert. Die Fig. 3a und 3b haben den gleichen Zeitmaßstab. Bei 15 kV Ladespannung erreicht diese gemäß Fig. 3a, Kurve III, nach 9 Zeiteinheiten ihr Maximum, während bei 26 kV Ladespannung gemäß Fig. 3b das Maximum der Ladespannung schon nach 7 Zeiteinheiten auftritt.

Fig. 4 zeigt die Verzögerungszeiten in Abhängigkeit von der Ladespannung zum einen für eine Steuerschaltung mit zwei Kompressionsstufen (durchgezogene Linie) und zum anderen für eine Steuerschaltung mit nur einer Kompressionsstufe (gestrichelte Linie). Für die zweistufige Kompression gilt die linke Ordinate (ns) und für die einstufige Kompression die rechte Ordinate ( $\mu$ s). Auf der Abszisse ist die Ladespannung in kV aufgetragen. Der Fig. 4 ist zu entnehmen, wie sich die Verzögerungszeit  $t_v$  zwischen dem Schließen des Hauptschaltelementes  $T$  (Fig. 2) und dem Zünden der Gasentladung  $G$  in Abhängigkeit von dem Betrag der Ladespannung ändert.

Diese Abhängigkeit der Verzögerungszeit zwischen dem Schließen des Schalters  $T$  und dem Beginn des Laserpulses ist in Fig. 5 mit der durchgezogenen Kurve  $K$  schematisch dargestellt. Die Schaltzeit  $t_{MSC}$  der magnetischen Schalter wird, wie oben erläutert, mit zunehmender Ladespannung kürzer. Ändert sich die Ladespannung zum Beispiel zwischen den Werten  $HV_1$  und  $HV_2$ , so schwankt die Zeitspanne zwischen Schalterbetätigung und Laserpuls um den sogenannten "Jitter". Es wird deshalb in Abhängigkeit von der Ladespannung zur Verzögerungszeit  $t_v$  gemäß Fig. 5 eine zusätzliche Verzögerungszeit  $t_d$  addiert, damit insgesamt auch bei Änderung der Ladespannung die gesamte Zeitspanne zwischen Betätigen des Schalters  $S_1$  und Beginn des Laserpulses konstant den Wert  $t$  aufweist.

Hierzu wird bei einem Excimerlaser, der mit einer Steuerschaltung gemäß Fig. 2 gesteuert wird, zusätzlich eine Verzögerungssteuerung gemäß Fig. 6 vorgesehen. Die vom Netzgerät gelieferte Ladespannung  $HV$  wird mittels einer Steuerung 10 (z.B. ein Mikroprozessor) ermittelt. Die Steuerung 10 steuert eine veränderbare Verzögerungsstufe 14, welche ihrerseits den Hochspannungsschalter (Hauptschaltelement)  $T$  schließt. Das Netzgerät und die Schaltung gemäß Fig. 2 sind in Fig. 6 im Laser untergebracht. Bei 16 wird das mittels des Schalters  $S_1$  erzeugte, sogenannte Trigger-Signal eingegeben, mit dem ein Laserpuls eingeleitet werden soll. Dieses Signal wird in Block 12 angemessen umgeformt, um das Thyatron zu schalten. Die Steuerschaltung er-

mittelt die Ladespannung des Lasers und steuert entsprechend die veränderliche Verzögerungsstufe 14 derart, daß zu der Schaltzeit  $t_v$  des Schaltkreises (gemäß Fig. 2) jeweils eine Verzögerungszeit  $t_d$  gemäß Fig. 5 addiert wird, so daß insgesamt die Zeitspanne zwischen Eingang des Trigger-Signales bei 16 (Fig. 6) und Beginn des Laserpulses den konstanten Wert  $t_g$  hat.

Die Verzögerungssteuerung ist schematisch in Fig. 7 dargestellt. Die momentane Ladespannung  $HV$  des Lasers wird in einen Analog/Digital-Wandler eingegeben und in ein der Spannung proportionales Digitalwort gewandelt. Die Auflösung beträgt z.B. 10 V, der Wertebereich insgesamt 1024 Schritte. Im Schaltkreis 20 wird für eine gegebene Ladespannung  $HV$  die zugehörige Verzögerungszeit  $t_d$  ermittelt. Wegen des geringen Wertebereichs von nur 1024 Schritten der unabhängigen Variablen, also der Ladespannung  $HV$ , kann hier vorteilhaft das sogenannte "table look up"-Verfahren verwendet werden, bei dem alle Funktionswerte zuvor berechnet und in einer Tabelle (PROM) abgelegt werden. Hiermit sind Zugriffszeiten erreichbar, die deutlich kürzer sind als 100 ns. In der Funktionseinheit 20 wird also zur momentan herrschenden Ladespannung  $HV$  die zugehörige Verzögerungszeit  $t_d$  ermittelt und entsprechend die Verzögerungsstufe 14 gesteuert, so daß das Eingangstriggersignal 16 um die Verzögerungszeit  $t_d$  verzögert wird und das Ausgangstriggersignal 26 entsprechend verzögert den im Laser angeordneten Schalter  $T$  schließt, so daß die Summe  $t_d + t_v$  den konstanten Wert  $t_g$  einnimmt und jeder Schuß des Lasers genau um die Zeitspanne  $t_g$  auf das Triggersignal 16 folgt.

Die Verzögerungsstufe 14 ist als solche dem Fachmann als Standard-Baustein bekannt. Die Durchlaufverzögerung kann durch ein parallel angelegtes Digitalwort eingestellt werden.

#### Patentansprüche

1. Steuerschaltung für einen gepulsten Laser, insbesondere einen Gasentladungslaser, mit

- einem ersten Schaltelemente ( $S_1$ ), das zum Erzeugen eines Laserpulses betätigt wird, wobei zwischen der Betätigung des ersten Schaltelementes und dem Beginn des Laserpulses eine Zeitspanne vergeht, die abhängig ist von einem Parameter, der sich von Laserpuls zu Laserpuls ändern kann,

gekennzeichnet durch

- eine Meßeinrichtung (10) zum Messen des Parameters, und
- eine Verzögerungs-Steuerschaltung (14; 20), die in Abhängigkeit vom gemessenen Wert des Parameters eine Verzögerungsstufe derart steuert, daß die genannte Zeitspanne ( $t$ ) zwischen Betätigung des ersten Schaltelementes ( $S_1$ ) und dem Beginn des Laserpulses einen vorgegebenen, konstanten Wert hat.

2. Steuerschaltung nach Anspruch 1, mit einem Hochspannungs-Versorgungskreis ( $HV$ ) zum Aufladen zumindest eines Kondensators ( $C_1, C_2, C_3, C_4$ ) bei Betätigung eines Hauptschaltelementes ( $T$ ) durch das erste Schaltelement ( $S_1$ ), dadurch gekennzeichnet, daß der veränderliche Parameter die Hochspannung des Kondensators oder eine von dieser abhängigen Größe ist und daß in Abhängigkeit von der Hochspannung bzw. der abhängigen Größe die mit der Verzögerungsstufe (14) gesteu-

erte Verzögerungszeit eingestellt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

Fig 3a

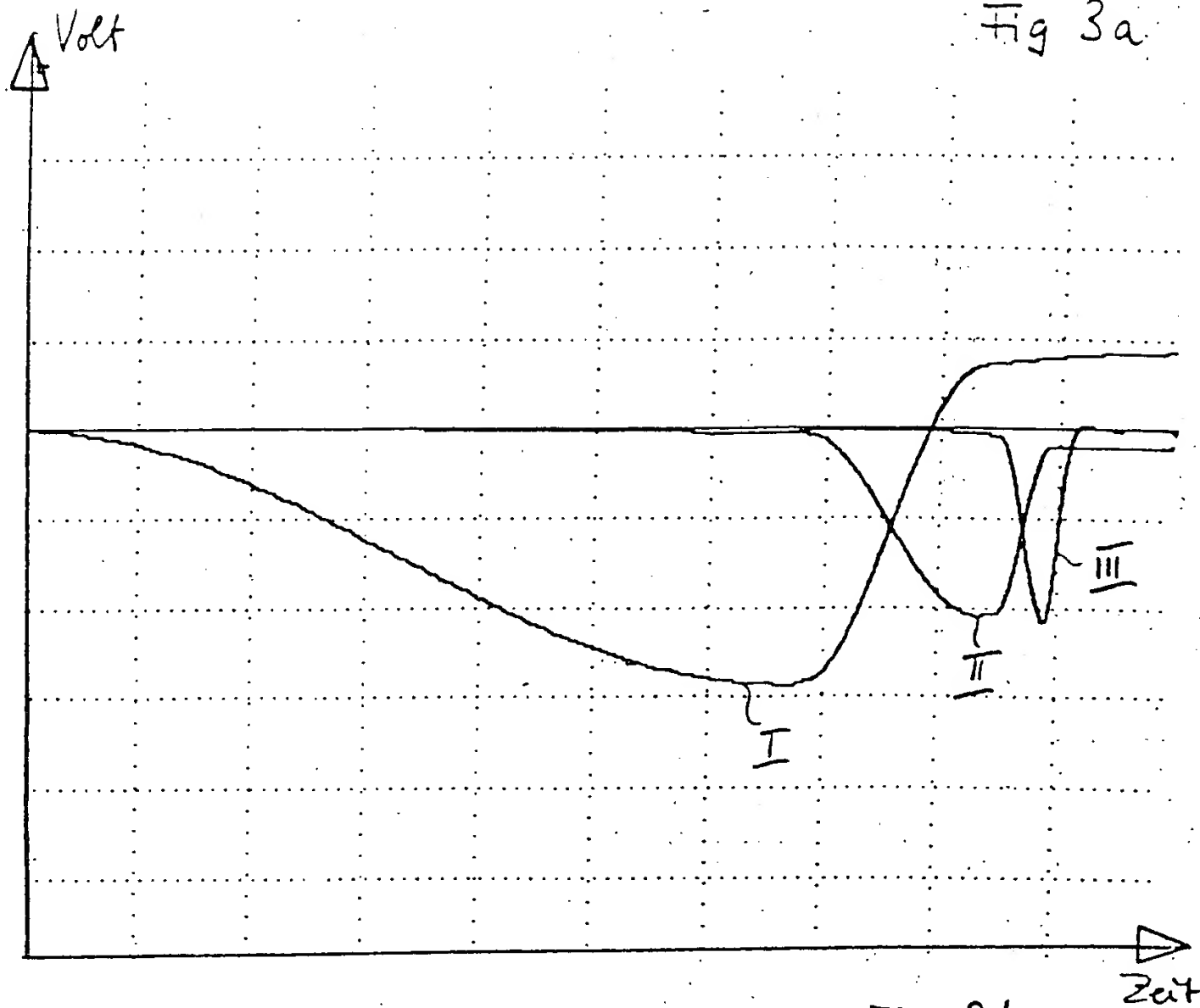


Fig. 3b

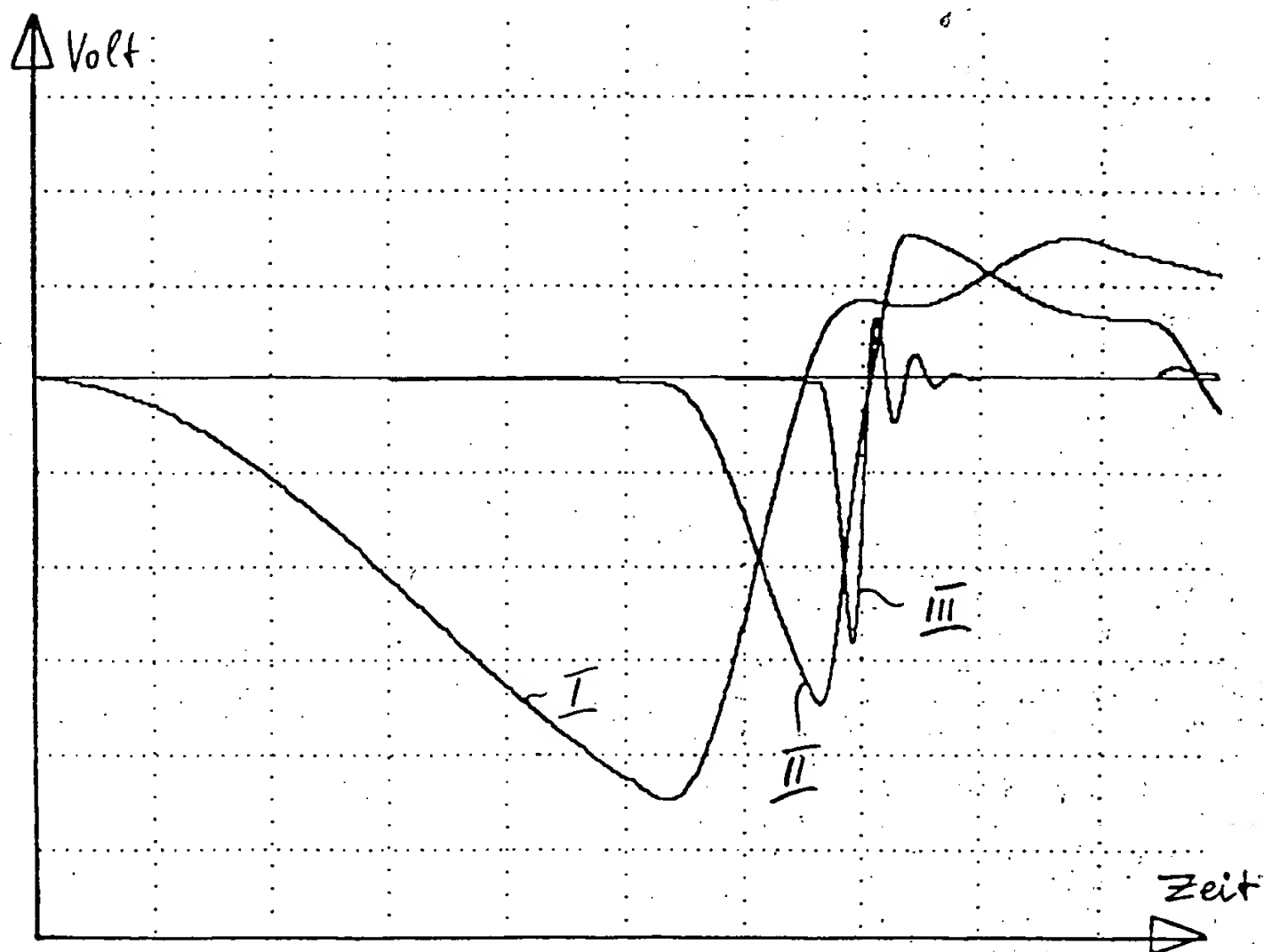
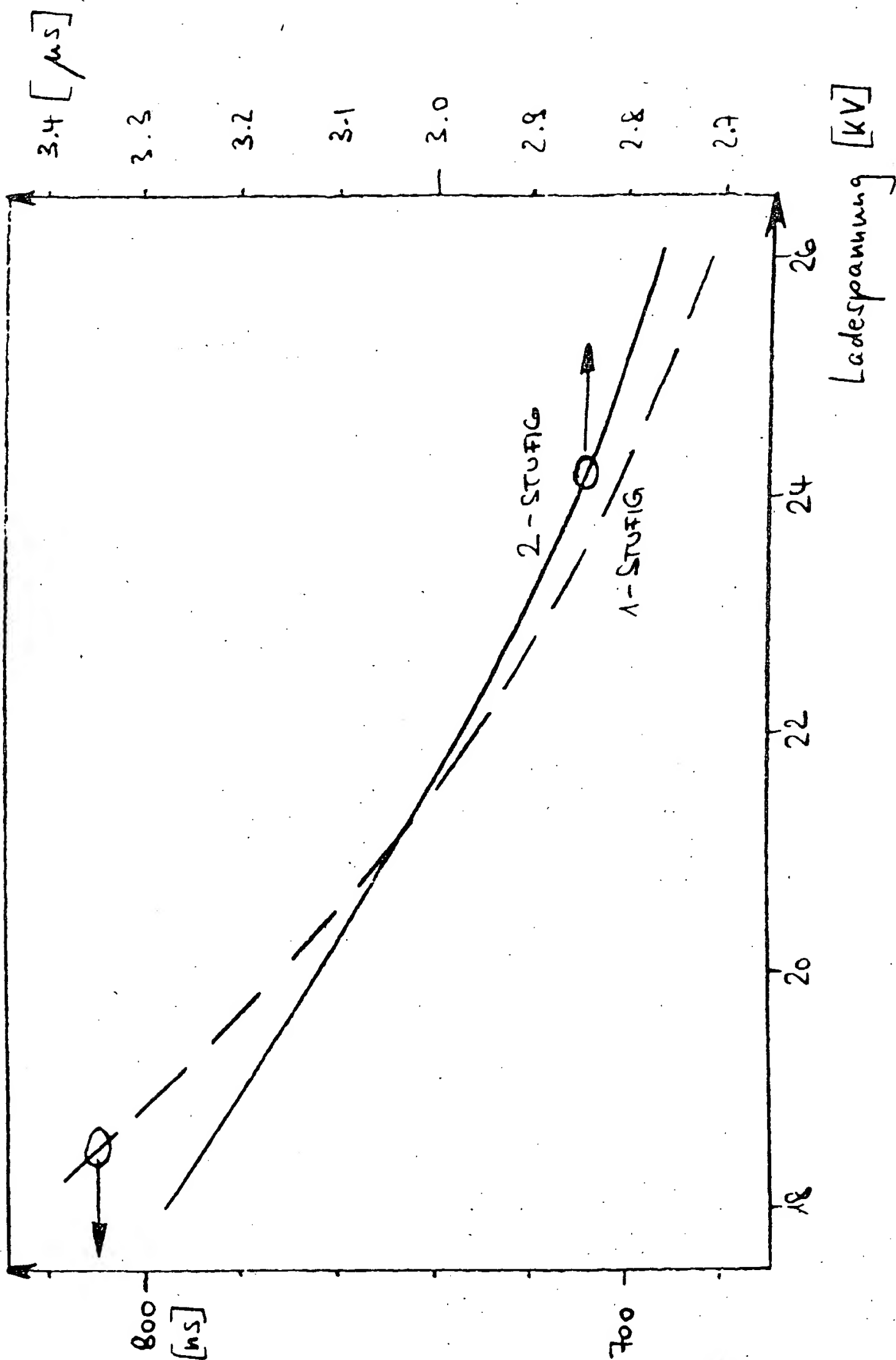


Fig. 4



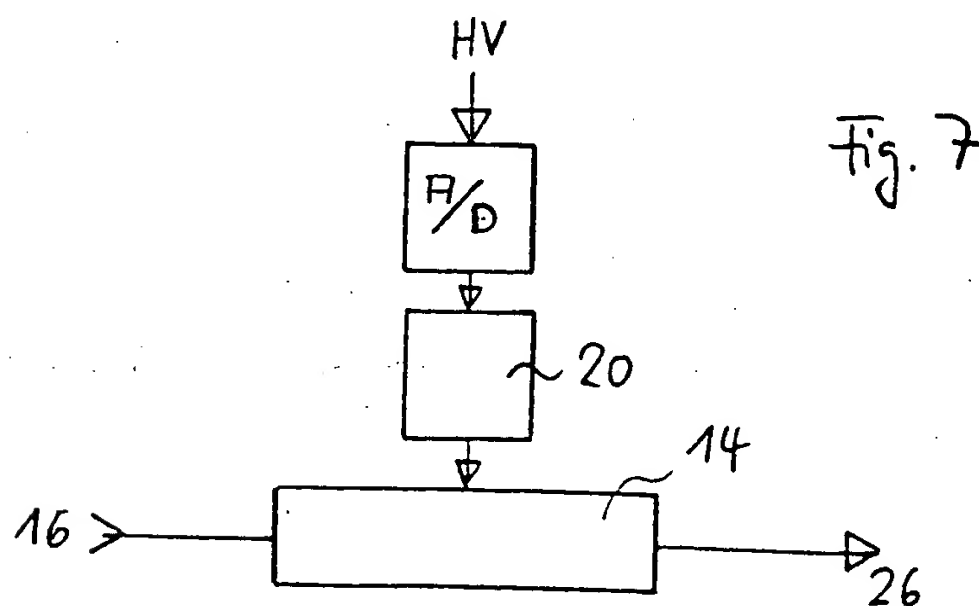
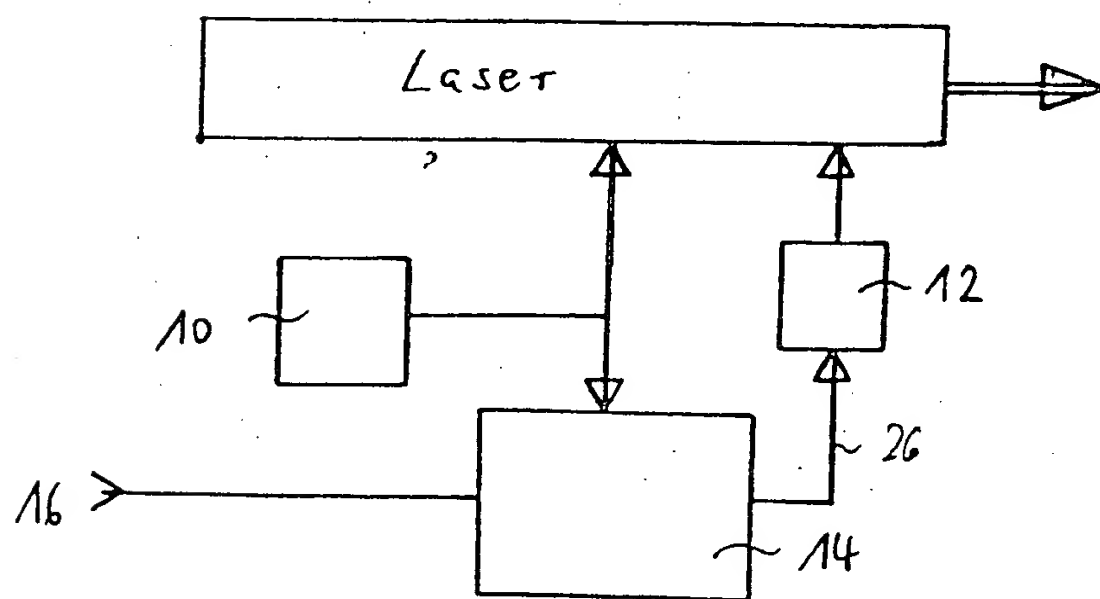
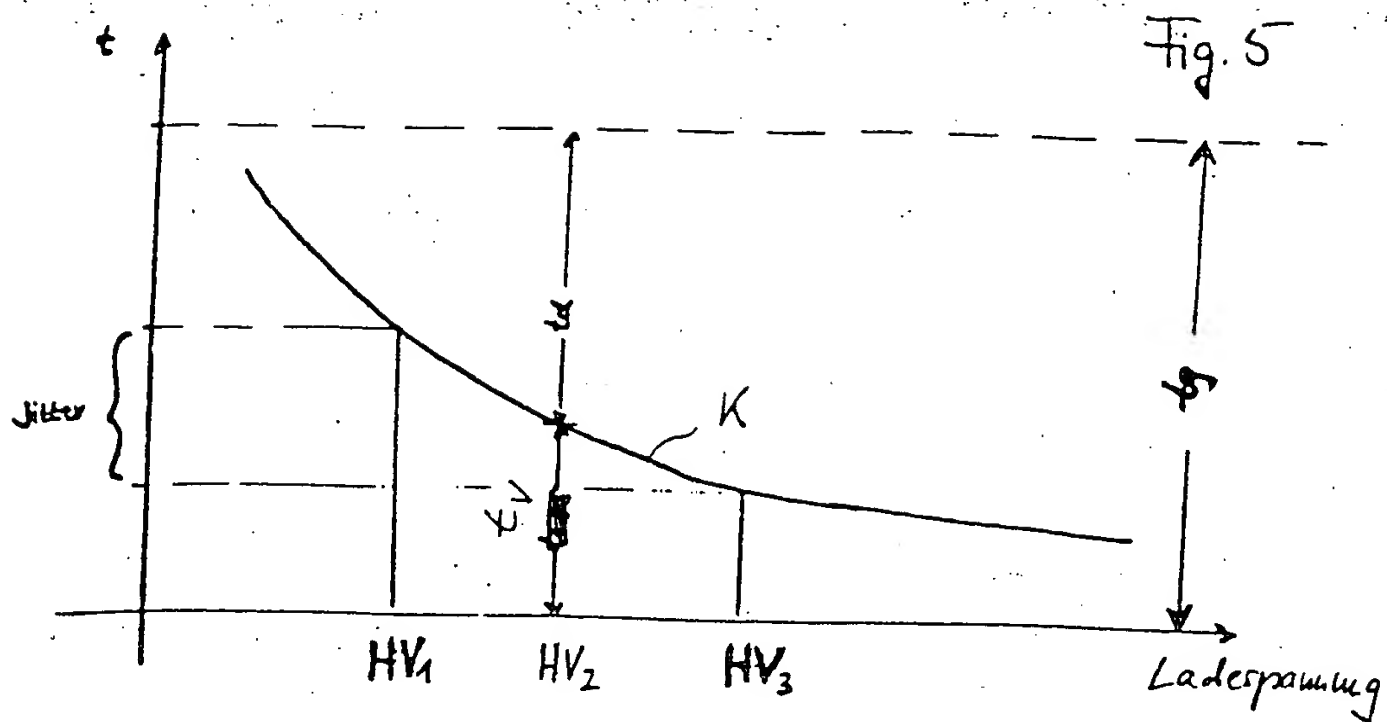


Fig. 1

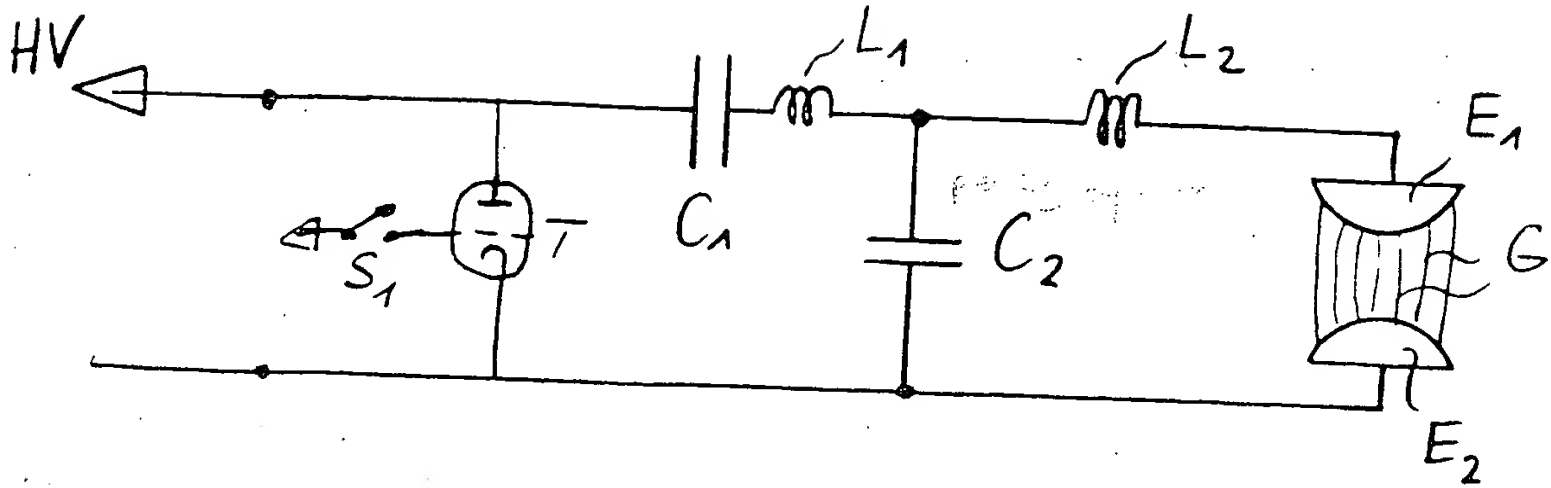
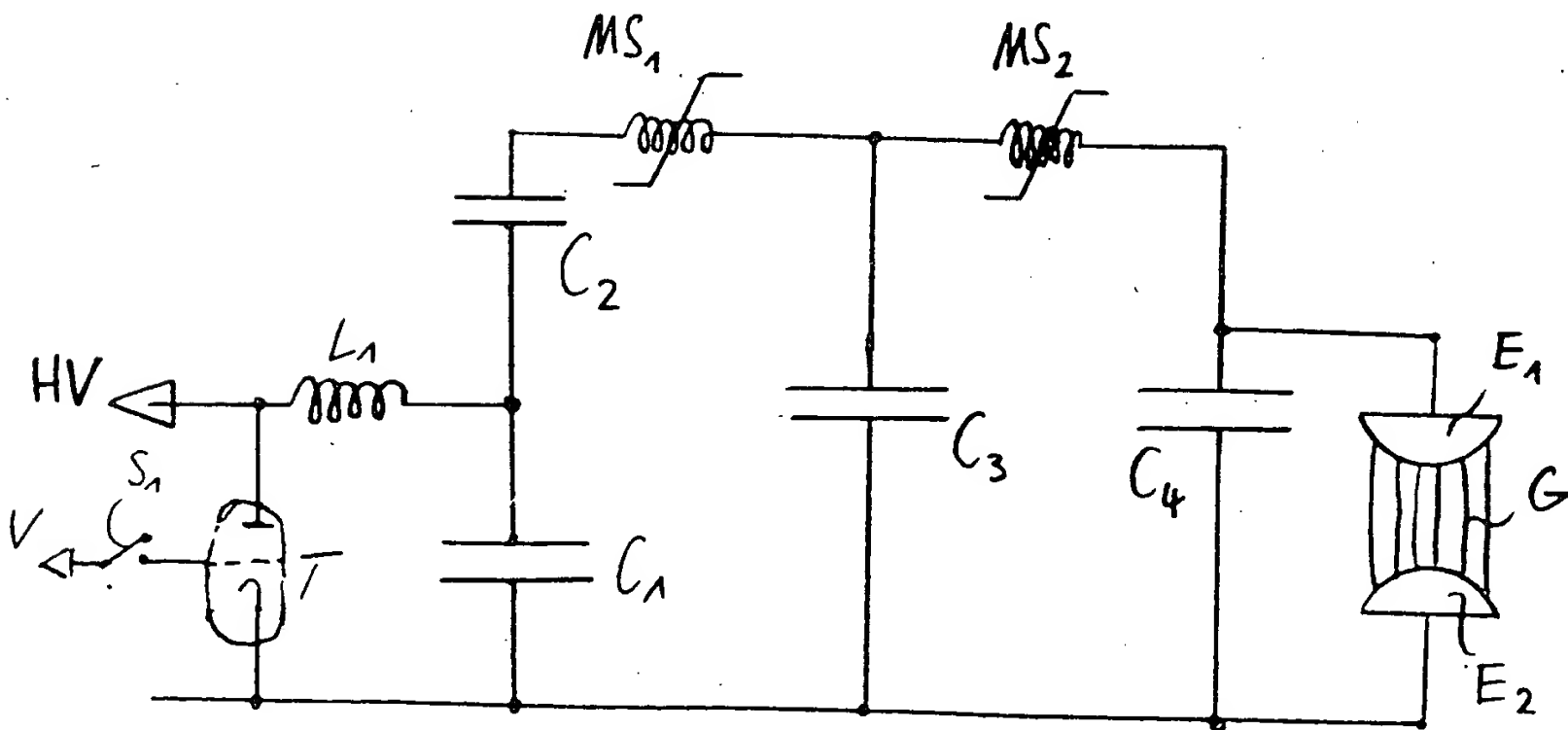


Fig. 2







IDEM JOB 01-11-127 (A&B)

## CERTIFICATION OF ACCURACY

I CERTIFY, UNDER PENALTY OF PERJURY UNDER THE LAWS OF THE UNITED STATES OF AMERICA THAT WE ARE COMPETENT IN ENGLISH AND **GERMAN** AND THAT THE FOLLOWING ARE, TO THE BEST OF OUR KNOWLEDGE AND BELIEF, TRUE, CORRECT, AND ACCURATE TRANSLATIONS OF THE ORIGINAL GERMAN DOCUMENTS.

NOVEMBER 29, 2001

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mariam Nayiny', is written over a horizontal dashed line.

MARIAM NAYINY  
PRESIDENT  
IDEM TRANSLATIONS, INC.

(19) **Federal Republic  
of Germany  
[Eagle]  
German  
Patent Office**

(12) **Published Patent Application**  
(10) **DE 38 42 492 A1**

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>  
**H 01 S 3/097**

(21) File Number: P 38 42 492.4  
(22) Application Date: 12/16/88  
(43) Publication Date: 6/21/90

(71) Applicant:  
Lambda Physik Forschungsgesellschaft mbH,  
[Lambda Physics Research Limited Liability  
Company] 3400 Göttingen, DE  
(74) Representative:  
Wuesthoff, F., Dr. of Engineering; Baron von  
Pechmann, E., Graduate Chemist, Ph.D.;  
Behrens, D., Dr. of Engineering; Goetz, R.,  
Graduate Engineer; Graduate Business  
Administrator; von Hellfeld, A., Graduate  
Physicist, Ph.D., Patent Attorney; 8000 Munich

(72) Inventor  
Basting, Dirk, Dr., 3400 Göttingen, DE

(54) Control circuit for a pulsed gas discharge laser

(57) A control circuit for a pulsed gas discharge laser has a first switching element that is activated to generate a laser pulse. So that the time lapse between the activation of the first circuit element and the beginning of a laser pulse remains constant even when the load voltage of the gas discharge laser varies, a device is provided that controls a delay stage corresponding to the charging voltage.

DE 38 42 492 A1

### Description

The invention concerns a control circuit for a pulsed gas discharge laser, especially an excimer laser. The structure and function of an excimer laser are presupposed here as known.

Fig. 1 shows a schematic diagram of a known control circuit for a pulsed gas discharge laser, especially an excimer laser. A thyatron  $T$  serves as the high voltage switch (hereinafter called "main switching element"), which is transferred to the conducting condition by a first switching element  $S_1$  using a voltage pulse  $V$ , or possibly to be converted in the known manner (usually designated as "triggering" or "switching on" the thyatron). By means of a high voltage source  $HV$ , a capacitor  $C_1$  is charged. Upon closing of the main switching element  $T$  (triggering of the thyatron), the energy stored in capacitor  $C_1$  is transferred, in typically 100 to 150 ns, into capacitor  $C_2$ . Corresponding to the relationship of the capacitances of the capacitors, a voltage increase of up to a factor of 2 can be achieved. A critical component with respect to the useful life of the laser is the extremely heavily stressed high voltage switch, that is the thyatron  $T$ , that serves as the main switching element in the sample embodiment shown.

In the paper by D. Basting, K. Hohla, E. Albers, H. v. Bergmann, "Thyatron with Magnetic Switches. The Key to Reliable Excimer Lasers" in the periodical "Lasers and Optical Electronics," 16 No. 2 (1984), p. 128, it is described in detail how the stressing of a thyatron can be reduced and therefore the useful life of the control circuit can be increased by using so-called magnetic compression stages. In the magnetic compression stages, magnetic switches are used whose inductivity changes suddenly at the time of saturation by several orders of magnitude. Details on this are described in the above-cited paper of D. Basting, et al., and in DE-PS 33 35 690. The revelation of these two publications is expressly incorporated into this application and their content is presupposed as known.

If a gas discharge laser is equipped with one or more magnetic switches of the above-described type, in accordance with Fig. 2, then the delay time  $t_d$  between the switching (triggering) of the thyatron  $T$  and the beginning of the laser pulse (therefore the beginning of the radiation emission of the laser) depends upon the charging voltage  $HV$ . Therefore, the time  $t_g$  between the closing of the first switch  $S_1$  and the beginning of the laser pulse depends upon the charging voltage  $HV$ .

In order to keep the pulse energy of the laser constant, it is known how to vary the charging voltage  $HV$ . Thus, for example, as gas quality declines in an excimer laser, the charging voltage  $HV$  must be increased in order to obtain consistent energy per laser pulse. Also, variations of the voltage of the electrical power grid and other effects can lead to changes in the pulse energy that must be compensated for by changing the charging voltage.

Fig. 2 shows details of a control circuit for an excimer laser in which the above-mentioned magnetic switches  $MS_1$  and  $MS_2$  are used. The generally used expression "magnetic switch" is a misunderstanding to the extent that the components  $MS_1$  and  $MS_2$  do not actively turn the flow of current

on and off, but rather represent inductivities that can be saturated and, when saturation is reached, drastic change their inductivity value. Saturation is reached as soon as the so-called holding time reaches a certain value. The holding time results from the integral of the voltage of the compression stage associated with the magnetic switch involved over time. As is stated in the above-cited paper by D. Basting et al., the holding time  $t_{MSC}$  can under certain conditions be calculated as follows:

$$t_{MSC} = \frac{2 N A \Delta B}{U_{max}}$$

In this connection,  $t_{MSC}$  is the switching time of the magnetic switch,  $N$  is the number of windings of the magnetic switch,  $A$  is the cross section of the core of the magnet switch;  $B$  is the magnetic field strength and  $U_{max}$  is the voltage of the capacitor assigned to the magnetic switch in question (in Fig. 2, therefore, the voltage of capacitor  $C_2$  with respect to the magnetic switch  $MS_1$  and the voltage of the capacitor  $C_3$  with respect to the magnetic switch  $MS_2$ ).

Therefore, if the effective charging voltage  $HV$  and therefore indirectly also the electrode voltage (in Fig. 2, the voltage of capacitor  $C_4$ ), is changed in a gas discharge laser in order to keep the pulse energy constant for the gas discharge ( $G$ ) (Figs. 1 and 2) in the manner described above, then the switching times  $t_{MSC}$  of the magnetic switches used also change. In the same embodiment according to Fig. 2, there are two compression stages placed in series, each made up of the magnetic switches  $MS_1$  and of capacitors  $C_2$  or the magnetic switch  $MS_2$  and the capacitor  $C_3$ . As is described in the above cited paper, more compression stages may be placed in series.

Now if laser pulse is to begin at a precisely defined time after the switching of the first switch  $S_1$ , the different switching times  $t_{MSC}$  of the magnetic switches  $MS_1$  and  $MS_2$  and possibly further magnetic switches cause problems to the extent that, with increasing voltages,  $U_{max}$  switching times corresponding to the above problem are shortened. As a result, the time period  $t_v$  between the switching on of the thyatron  $T$  and the beginning of the laser pulse also changes. Instead of the thyatron, another switch can be used, such as a solid state switch.

The problem to be solved by the invention is to provide a control circuit for pulsed laser, especially an excimer laser, which makes it possible for the time period between the operation of a switching element and the beginning of the laser pulse remains constant, even when the charging voltage of the laser and therefore the gas discharging voltage is changed.

The solution to this problem in accordance with the invention is characterized in Patent Claim 1.

In accordance with the invention, therefore, especially in the case of an excimer laser in which a gas discharge is to be triggered by the operation of a first switching element, but between the operation of this switching element and the beginning of the laser pulse, a period of time elapses that depends upon a parameter that can change from laser pulse to laser pulse, this parameter can be detected and from the value of the parameter detected a delay stage can be controlled in such a manner that even when the parameter changes, the period of time between the operation of the first switching element and the

beginning of the last pulse remains at a specific constant value. The delay stage causes a delay  $t_a$  between the closing of the switch  $S_1$  and the firing of the thyatron, so that the total time between the closing of the switch and the beginning of the laser pulse remains constant. The formula  $t_g = t_v + t_a$  applies.

As a parameter that can change from laser pulse to laser pulse, the so-called charging voltage of an excimer laser comes especially under consideration. The charging voltage is changed for example so as to achieve a consistent power through laser pulse, in spite of the layer of the gas in the discharge chamber of the laser. As described above, when so-called magnetic switches are used between the first switching element and the gas discharge segment, a change of the charging voltage can cause a change in the time period between the operation of the first switching element and the beginning of the laser pulse, since the magnetic switches have a voltage-dependent switching time.

In addition to this delay caused by the magnetic compression, yet other delays between the operating of the switch element and the beginning of the laser pulse may occur, which can also be dependent upon the charging voltage, such as, for example, the so-called anode delay time between the triggering and the firing of the thyatron (if such a switching element is used), and also the time between the beginning of the voltage increase to the laser electrodes and the gas breakthrough.

According to the invention, therefore, the effect of a change in the charging voltage on the time period between the switching of the thyatron and the beginning of the laser pulse is determined theoretically or experimentally and a control device is corresponding programmed that controls a delay conductor in such a manner that the effect of the change of the parameter on the time period between the actuation of the first switching element and the beginning of the laser pulse is compensated for, that is, the time period does not change. With the invention, it is therefore possible to fire the laser at a precisely defined time after the actuation of the first switch element (for example, another thyatron).

In the following, a sample embodiment of the invention is described in greater detail on the basis of the drawing. The following are shown.

Fig. 3a and 3b, voltage development over time at the individual stages of a magnetic compression circuit, in accordance with Fig. 2, with two different charging voltages.

Fig. 4, the dependence of the delay time  $t_v$  between the closing of the high voltage switch (main switching element)  $T$  according to Fig. 2 and the beginning of the gas discharge of an excimer laser, once with a single-stage magnetic compression circuit and again with a two-stage magnetic compression circuit, as a function of the charging voltage.

Fig. 5, schematically the determination of the needed delay time  $t_a$ .

Fig. 6, a block circuit diagram of a control, according to the invention, for an excimer laser, and

Fig. 7, a block circuit diagram of a delay control.

The control circuit shown in Fig. 2 for an excimer laser has two so-called compression stages that are made up of the magnetic switches  $MS_1$  and  $MS_2$  and the associated capacitors. This circuit is described in the literature cited at the beginning. In the sample embodiment shown, it causes a two-stage compression of the voltage pulse, which is generated upon closing of the main switching element  $T$  (for example, a thyatron). The resulting voltages at the capacitors  $C_2$ ,  $C_3$  and  $C_4$  are represented in Figs. 3a and 3b. In the measurement graphs according to Fig. 3a, a charging voltage  $HV$  of 15 kV is applied, while in the graphs according to Fig. 3b, a charging voltage of 26 kV is taken as a basis.

The voltage I is before the first magnetic switch  $MS_1$ , the voltage II is before the second magnetic switch  $MS_2$  and the voltage III is between the electrodes  $E_1$  and  $E_2$ .

A comparison of Figs. 3a and 3b shows how the development over time of the charging voltage (graph III) changes when the charging voltage is varied. Figs. 3a and 3b have the same time measurement. At 15 kV, charging voltage reaches its maximum according to graph III after 9 time units, while with 26 kV charging voltage, according to Fig. 3b, the maximum of the charging voltage occurs already after 7 time units.

Fig. 4 shows the delay times as a function of the charging voltage, first for a control circuit with two compression stages (solid line) and secondly for a control circuit with only one compression stage (dashed line). For the two-stage compression, the left ordinate (ns) applies, and for the single-stage compression, the right ordinate ( $\mu$ s) applies. On the abscissa, the charging voltage is shown in kV. Fig. 4 shows how the delay time between the closing of the main switching element  $T$  (Fig. 2) and the firing of the gas discharge  $G$  changes as a function of the height of the charging voltage.

This dependence of the delay time between the closing of the switch  $T$  and the beginning of the laser pulse is represented schematically with the solid line graph  $K$ . The switching time  $t_{MSC}$  of the magnetic switches is, as explained above, shorter with increasing charging voltage. If the charging voltage, for example, changes between the values  $HV_1$  and  $HV_3$ , then the time period between switch actuation and the laser pulse varies by the so-called "jitter." Therefore, depending on the charging voltage, to delay time  $t_v$  according Fig. 5 is added an additional delay time  $t_a$ , therefore, even if the charging voltage is changed, the total time between actuation of the switch  $S_1$  and the beginning of the laser pulse has the constant value  $t$ .

In this regard, in the case of an excimer laser that is controlled with a control circuit according to Fig. 2, an additional delay control according to Fig. 6 is provided. The charging voltage  $HV$  provided by the grid unit is determined by means of a control 10 (for example, a microprocessor). The control 10 controls an adjustable delay stage 14, which, in turn, closes the high voltage switch (main switching element)  $T$ . The grid unit and the circuit in accordance with Fig. 2 are housed in Fig. 6 in the laser. In the case of 16, the so-called trigger signal generated by means of the switch  $S_1$  is input, with which a laser pulse is to be initiated. This signal is converted appropriately in block 12 in order to switch the thyatron. The control circuit determines the charging voltage of the laser and correspondingly controls the adjustable delay stage 14 in such a manner that to the switching time  $t_v$  of the switching circuit (according

to Fig. 2) a delay time  $t_a$  is added in each case according to Fig. 5, so that the total time period between input of the trigger signal at 16 (Fig. 6) and the beginning of the laser pulse has the constant value  $t_g$ .

The delay control is represented schematically in Fig. 7. The momentary charging voltage  $HV$  of the laser is input into an analog/digital converter and converted into a digital value proportional to the voltage. The resolution is, for example, 10 V, the value range a total of 1024 steps. In switching circuit 20 for a charging voltage  $HV$ , the associated delay time  $t_a$  is determined. Due to the limited value range of only 1024 steps of the independent variables, that is the charging voltage  $HV$ , it is advantageous to use the so-called "table look up" procedure in which all function values are calculated in advance and stored in a table (PROM). In this manner, access times can be achieved that are clearly shorter than 100 ns. In the function unit 20, therefore, the associated delay time  $t_a$  is determined for the current value of charging voltage  $HV$  and the delay stage 14 is controlled correspondingly so that the input trigger signal 16 is delayed by the delay time and the output trigger signal 26 correspondingly delays the switch  $T$  placed in the laser so that the total  $t_a + t_v$  assumes the constant value  $t_g$  and each firing of the laser follows the trigger signal 16 by exactly the time period  $t_g$ .

Delay stage 14 is as such known to the person skilled in the art as a standard component. The pass-through delay can be adjusted by means of a digital value applied in parallel.

### Patent Claims

1. Control circuit for a pulsed laser, especially a gas discharge laser with

- a first switching element ( $S_1$ ), which is actuated in order to generate a laser pulse, where, between the actuation of the first switching element and the beginning of the laser pulse, a period of time elapses that is dependent upon a parameter that can vary from laser pulse to laser pulse,

**characterized by**

- a measuring device (10) to measure the parameter, and
- a delay control circuit (14-20), which controls a delay step depending upon the measured value of the parameter, in such a way that the above-mentioned time period ( $t$ ) between the actuation of the first switching element ( $S_1$ ) and the beginning of the laser pulse has a present constant value.

2. Control circuit to Claim 1, with a high voltage supply circuit ( $HV$ ) to charge at one capacitor ( $C_1, C_2, C_3, C_4$ ) by actuation of a main switching element  $T$  through the first switching element ( $S_1$ ), characterized in that the variable parameter is the high voltage of the capacitor or a value dependent upon it, and in that the delay time is adjusted depending upon the high voltage or the value dependent upon it controlled by the delay stage (14).

Four pages of drawings follow

[See original for drawings]

[Heading on drawings:]  
DRAWING PAGE 1

Number:	<b>DE 38 42 492 A1</b>
Int.Cl. <sup>5</sup> :	<b>H 01 S 3/097</b>
Publication Date:	<b>June 21, 1990</b>

[On drawing 2:]

Zeit = time

[On drawings 3 and 4:]  
Ladespannung = Charging voltage